

Docket No.: 50395-076

**PATENT**



**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of

Takatoshi KATO, et al.

Serial No.:

Group Art Unit:

Filed: December 11, 2000

Examiner:

For: OPTICAL FIBER AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

**CLAIM OF PRIORITY AND  
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENTS**

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, DC 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

Japanese Patent Application No. 11-353262, filed December 13, 1999;

Japanese Patent Application No. 11-353270, filed December 13, 1999;

and

Japanese Patent Application No. 2000-132652, filed May 1, 2000

cited in the Declaration of the present application. Certified copies are submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

Arthur J. Steiner  
Registration No. 26,106

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
(202) 756-8000 AJS:klm  
**Date: December 11, 2000**  
Facsimile: (202) 756-8087

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

McDermott, Will & Emery

50345-076  
DECEMBER 11, 2000  
KATO et al.

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1 9 9 9 年 1 2 月 1 3 日

出 願 番 号

Application Number:

平成 1 1 年 特 許 願 第 3 5 3 2 6 2 号

出 願 人

Applicant (s):

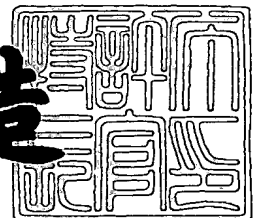
住友電気工業株式会社



2 0 0 0 年 9 月 1 8 日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Patent Office

及 川 耕 造



出 証 番 号 出 証 特 2 0 0 0 - 3 0 7 3 6 8 6

【書類名】 特許願

【整理番号】 099Y0413

【提出日】 平成11年12月13日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/00

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会  
社 横浜製作所内

    【氏名】 加藤 考利

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会  
社 横浜製作所内

    【氏名】 大西 正志

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会  
社 横浜製作所内

    【氏名】 久保 祐二

【特許出願人】

    【識別番号】 000002130

    【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100088155

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

    【識別番号】 100089978

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9908938

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における波長分散の絶対値が  $8\sim 15\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$  であり、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における分散スロープの絶対値が  $0.05\ \text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$  以下であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 2】 波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における波長分散の絶対値が  $8\sim 12\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$  であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 3】 波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における分散スロープの絶対値が  $0.03\ \text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$  以下であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 4】 波長帯域  $1.45\sim 1.65\ \mu\text{m}$  において波長分散の絶対値が  $5\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$  以上であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 5】 波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における実効断面積が  $45\ \mu\text{m}^2$  以上であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 6】 波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における実効断面積が  $50\ \mu\text{m}^2$  以上であることを特徴とする請求項 5 記載の光ファイバ。

【請求項 7】  $2\ \text{m}$  カットオフ波長が  $1.40\ \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 8】  $2\ \text{m}$  カットオフ波長が  $1.60\ \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 9】 光軸中心を含み第 1 屈折率を有する第 1 コア領域と、前記第 1 コア領域を取り囲み前記第 1 屈折率より小さい第 2 屈折率を有する第 2 コア領域と、前記第 2 コア領域を取り囲み前記第 2 屈折率より大きい第 3 屈折率を有する第 3 コア領域と、前記第 3 コア領域を取り囲み前記第 3 屈折率より小さい第 4 屈折率を有するクラッド領域とを有することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 10】 前記クラッド領域は、前記第 3 コア領域を取り囲む内クラッド領域と、前記内クラッド領域を取り囲む外クラッド領域とを含み、前記内クラッド領域の屈折率より前記外クラッド領域の屈折率が高いことを特徴とする

請求項 9 記載の光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波長多重伝送システムにおける光伝送路等として用いるのに好適な光ファイバに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

波長多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 伝送システムは、波長  $1.55\mu\text{m}$  帯の多波長の信号光を用いて光通信を行うことで、高速・大容量の情報を伝送することができる。このような WDM 伝送システムでは、非線形光学現象 (特に四光波混合) の発生を抑圧する為に光伝送路における波長分散の絶対値を大きくするとともに、信号光波長帯域の広帯域化を図る為に光伝送路における分散スロープの絶対値を小さくすることが重要である。

【0003】

WDM 伝送システムにおける光伝送路として用いられる光ファイバの 1 つに、ITU の G 6 5 2 規格で規格化されているシングルモード光ファイバがある。このシングルモード光ファイバは、波長  $1.3\mu\text{m}$  付近に零分散波長を有しており、波長  $1.55\mu\text{m}$  では波長分散が  $17\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$  程度であって比較的大きいことから、四光波混合の発生を十分に抑圧することができる。しかし、このシングルモード光ファイバは、波長  $1.55\mu\text{m}$  で分散スロープが  $0.056\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$  程度であって比較的大きいことから、多波長の信号光それぞれの波長分散の差が大きい。

【0004】

また、波長  $1.55\mu\text{m}$  における分散スロープを低減した分散フラット光ファイバが提案されている (例えば、米国特許第 5,684,909 号明細書や、欧州特許出願公報 EP 0 883 002 A1 を参照)。この分散フラット光ファイバは、波長  $1.55\mu\text{m}$  で分散スロープが  $0.05\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$  以下であって比較的小さい点では好適であるが、波長  $1.55\mu\text{m}$  は波長分散が  $8\text{ps}$

／nm／km程度であって比較的小さいことから、四光波混合の発生を十分に抑圧することができない。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

以上のように、従来の光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ で波長分散の絶対値が小さいか或いは分散スロープの絶対値が大きいものであって、WDM伝送システムの光伝送路として用いると、四光波混合の発生を十分に抑圧することができないか、或いは、信号光波長帯域の広帯域化を図ることができない。

【0006】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、四光波混合の発生を十分に抑圧することができ、且つ、信号光波長帯域の広帯域化を図ることができる光ファイバを提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8\sim 15\text{ps/nm/km}$ であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.05\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする。この光ファイバは、波長分散の絶対値が大きいので、四光波混合の発生を抑制することができ、分散スロープの絶対値が小さいので、信号光波長帯域の広帯域化を図ることができる。

【0008】

また、本発明に係る光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8\sim 12\text{ps/nm/km}$ であることを特徴とする。この場合には、非線形光学現象と累積分散との相互作用に因る波形劣化を抑制する上で好適である。

【0009】

また、本発明に係る光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.03\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする。この場合には、信号光波長帯域の広帯域化を図る上で更に好適である。

【0010】

また、本発明に係る光ファイバは、波長帯域  $1.45 \sim 1.65 \mu\text{m}$  において波長分散の絶対値が  $5 \text{ ps/nm/km}$  以上であることを特徴とする。広い波長帯域で波長分散の絶対値が大きいので、この広い信号光波長帯域で四光波混合の発生を抑制することができ、大容量の光通信を行うことができる。

## 【0011】

また、本発明に係る光ファイバは、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における実効断面積が  $45 \mu\text{m}^2$  以上であることを特徴とする。特に、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における実効断面積が  $50 \mu\text{m}^2$  以上であることを特徴とする。この場合には、実効断面積が大きいので、四光波混合の発生を抑制する上で好適である。

## 【0012】

また、本発明に係る光ファイバは、2mカットオフ波長が  $1.40 \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする。特に、2mカットオフ波長が  $1.60 \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする。この場合には、信号光波長よりカットオフ波長の方が長いが、数百m以上の伝送をする場合、カットオフ波長の距離依存性を考慮すると、実用上問題がなく、信号光波長帯域でシングルモード条件を満たしている。また、曲げ損失が小さく、曲げに強く、ケーブル化でのロス増を抑えるのに好適である。

## 【0013】

また、本発明に係る光ファイバは、光軸中心を含み第1屈折率を有する第1コア領域と、第1コア領域を取り囲み第1屈折率より小さい第2屈折率を有する第2コア領域と、第2コア領域を取り囲み第2屈折率より大きい第3屈折率を有する第3コア領域と、第3コア領域を取り囲み第3屈折率より小さい第4屈折率を有するクラッド領域とを有することを特徴とする。また、クラッド領域は、第3コア領域を取り囲む内クラッド領域と、内クラッド領域を取り囲む外クラッド領域とを含み、内クラッド領域の屈折率より外クラッド領域の屈折率が高いことを特徴とする。これら何れの場合にも、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における波長分散の絶対値を  $8 \sim 15 \text{ ps/nm/km}$  とし、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散スロープの絶対値を  $0.05 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下とする上で好適である。

## 【0014】

## 【発明の実施の形態】



以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0015】

図1は、本実施形態に係る光ファイバを説明する図である。この図に示すように、本実施形態に係る光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8\sim 15\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。したがって、この光ファイバは、波長分散の絶対値が大きいのので、四光波混合の発生を抑制することができる。ただし、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が大きすぎると、ビットレート $40\text{Gb}/\text{s}$ 以上の光伝送では、非線形光学現象と累積分散との相互作用に因る波形劣化が問題となるので、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8\sim 12\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であるのが、より好適である。

【0016】

本実施形態に係る光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.05\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であり、より好適には、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.03\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である。したがって、この光ファイバは、分散スロープの絶対値が小さいので、信号光波長帯域の広帯域化を図ることができる。

【0017】

本実施形態に係る光ファイバは、波長帯域 $1.45\sim 1.65\mu\text{m}$ において波長分散の絶対値が $5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上であるのが好適である。このように、Sバンド（波長帯域 $1.45\sim 1.53\mu\text{m}$ ）、Cバンド（波長帯域 $1.53\sim 1.56\mu\text{m}$ ）およびLバンド（波長帯域 $1.56\sim 1.65\mu\text{m}$ ）を含む広い波長帯域で波長分散の絶対値が大きいのので、この広い信号光波長帯域で四光波混合の発生を抑制することができ、大容量の光通信を行うことができる。

【0018】

本実施形態に係る光ファイバは、四光波混合の発生を抑制する上では、実効断面積が大きいののが好適である。したがって、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積は、 $45\mu\text{m}^2$ 以上であるのが好適であり、 $50\mu\text{m}^2$ 以上であるのがより好適である。

## 【0019】

また、本実施形態に係る光ファイバは、信号光波長帯域でシングルモードであるのが好適である。また、曲げ損失が小さく、曲げに強いことも重要である。したがって、2 mカットオフ波長は、 $1.40\ \mu\text{m}$ 以上であるのが好適であり、 $1.60\ \mu\text{m}$ 以上であるのがより好適である。また、カットオフ波長の距離依存性を考慮すれば、2 mカットオフ波長は、信号光波長より長い $2.0\ \mu\text{m}$ 程度であってもよい。ここで、2 mカットオフ波長は、長さ2 mの光ファイバを半径140 mmでゆるく1回巻き付けた状態での $LP_{11}$ モードのカットオフ波長として定義される。

## 【0020】

図2は、本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適な1例を示す図である。この光ファイバは、光軸中心を含み屈折率 $n_1$ を有する第1コア領域と、第1コア領域を取り囲み屈折率 $n_2$ を有する第2コア領域と、第2コア領域を取り囲み屈折率 $n_3$ を有する第3コア領域と、第3コア領域を取り囲み屈折率 $n_4$ を有するクラッド領域とを有する。各屈折率の大小関係は、

$$n_1 > n_2 \quad \dots (1a)$$

$$n_2 < n_3 \quad \dots (1b)$$

$$n_3 > n_4 \quad \dots (1c)$$

である。ここで、第1コア領域の外径を $2a$ と表し、第2コア領域の外径を $2b$ と表し、第3コア領域の外径を $2c$ と表す。クラッド領域の屈折率 $n_4$ を基準として、第1コア領域の比屈折率差を $\Delta n_1$ と表し、第2コア領域の比屈折率差を $\Delta n_2$ と表し、第3コア領域の比屈折率差を $\Delta n_3$ と表す。

## 【0021】

図3は、本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適な他の例を示す図である。光軸中心を含み屈折率 $n_1$ を有する第1コア領域と、第1コア領域を取り囲み屈折率 $n_2$ を有する第2コア領域と、第2コア領域を取り囲み屈折率 $n_3$ を有する第3コア領域と、第3コア領域を取り囲み屈折率 $n_4$ を有する内クラッド領域と、内クラッド領域を取り囲み屈折率 $n_5$ を有する内クラッド領域とを有する。各屈折率の大小関係は、

$$n_1 > n_2 \quad \dots (2a)$$

$$n_2 < n_3 \quad \dots (2b)$$

$$n_3 > n_4 \quad \dots (2c)$$

$$n_4 < n_5 \quad \dots (2d)$$

である。ここで、第1コア領域の外径を2 aと表し、第2コア領域の外径を2 bと表し、第3コア領域の外径を2 cと表し、内クラッド領域の外径を2 dと表す。外クラッド領域の屈折率 $n_5$ を基準として、第1コア領域の比屈折率差を $\Delta n_1$ と表し、第2コア領域の比屈折率差を $\Delta n_2$ と表し、第3コア領域の比屈折率差を $\Delta n_3$ と表し、内クラッド領域の比屈折率差を $\Delta n_4$ と表す。

#### 【0 0 2 2】

次に、本実施形態に係る光ファイバの実施例について説明する。図4は、各実施例の光ファイバの諸元を纏めた図表である。

#### 【0 0 2 3】

実施例1の光ファイバは、図2に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は0.44%であり、第2コア領域の比屈折率差 $\Delta n_2$ は0.00%であり、第3コア領域の比屈折率差 $\Delta n_3$ は0.13%である。第1コア領域の外径2 aは7.0  $\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径2 bは20.8  $\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径2 cは32.0  $\mu\text{m}$ である。

#### 【0 0 2 4】

この実施例1の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は1329 nmであり、波長分散は、波長1.45  $\mu\text{m}$ で8.2 ps/nm/kmであり、波長1.55  $\mu\text{m}$ で13.5 ps/nm/kmであり、波長1.65  $\mu\text{m}$ で18.0 ps/nm/kmである。波長1.55  $\mu\text{m}$ において、分散スロープは0.048 ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、実効断面積は63.4  $\mu\text{m}^2$ であり、直径32 mm  $\phi$ での曲げ損失は0.003 dB/ターンである。2 mカットオフ波長は1.78  $\mu\text{m}$ である。

#### 【0 0 2 5】

実施例2の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は0.40%であり、第2コア領域の比

屈折率差  $\Delta n_2$  は  $-0.05\%$  であり、第3コア領域の比屈折率差  $\Delta n_3$  は  $0.15\%$  であり、内クラッド領域の比屈折率差  $\Delta n_4$  は  $-0.05\%$  である。第1コア領域の外径  $2a$  は  $7.6\mu\text{m}$  であり、第2コア領域の外径  $2b$  は  $16.3\mu\text{m}$  であり、第3コア領域の外径  $2c$  は  $25.5\mu\text{m}$  であり、内クラッド領域の外径  $2d$  は  $38.0\mu\text{m}$  である。

## 【0026】

この実施例2の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は  $1330\text{nm}$  であり、波長分散は、波長  $1.45\mu\text{m}$  で  $7.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$  であり、波長  $1.55\mu\text{m}$  で  $12.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$  であり、波長  $1.65\mu\text{m}$  で  $17.1\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$  である。波長  $1.55\mu\text{m}$  において、分散スロープは  $0.047\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$  であり、実効断面積は  $69.2\mu\text{m}^2$  であり、直径  $32\text{mm}\phi$  での曲げ損失は  $0.02\text{dB}/\text{ターン}$  である。2mカットオフ波長は  $1.43\mu\text{m}$  である。

## 【0027】

実施例3の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差  $\Delta n_1$  は  $0.45\%$  であり、第2コア領域の比屈折率差  $\Delta n_2$  は  $-0.10\%$  であり、第3コア領域の比屈折率差  $\Delta n_3$  は  $0.19\%$  であり、内クラッド領域の比屈折率差  $\Delta n_4$  は  $-0.10\%$  である。第1コア領域の外径  $2a$  は  $6.7\mu\text{m}$  であり、第2コア領域の外径  $2b$  は  $18.9\mu\text{m}$  であり、第3コア領域の外径  $2c$  は  $29.5\mu\text{m}$  であり、内クラッド領域の外径  $2d$  は  $44.0\mu\text{m}$  である。

## 【0028】

この実施例3の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は  $1331\text{nm}$  であり、波長分散は、波長  $1.45\mu\text{m}$  で  $6.8\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$  であり、波長  $1.55\mu\text{m}$  で  $10.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$  であり、波長  $1.65\mu\text{m}$  で  $12.6\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$  である。波長  $1.55\mu\text{m}$  において、分散スロープは  $0.027\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$  であり、実効断面積は  $54.1\mu\text{m}^2$  であり、直径  $32\text{mm}\phi$  での曲げ損失は  $0.05\text{dB}/\text{ターン}$  である。2mカットオフ波長は  $1.73\mu\text{m}$  である。

## 【0029】

実施例4の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は0.46%であり、第2コア領域の比屈折率差 $\Delta n_2$ は-0.20%であり、第3コア領域の比屈折率差 $\Delta n_3$ は0.26%であり、内クラッド領域の比屈折率差 $\Delta n_4$ は-0.20%である。第1コア領域の外径 $2a$ は6.4 $\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は22.7 $\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は32.4 $\mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径 $2d$ は48.4 $\mu\text{m}$ である。

## 【0030】

この実施例4の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は1316nmであり、波長分散は、波長1.45 $\mu\text{m}$ で8.4ps/nm/kmであり、波長1.55 $\mu\text{m}$ で11.9ps/nm/kmであり、波長1.65 $\mu\text{m}$ で10.6ps/nm/kmである。波長1.55 $\mu\text{m}$ において、分散スロープは0.015ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、実効断面積は45.5 $\mu\text{m}^2$ であり、直径32mm $\phi$ での曲げ損失は0.47dB/ターンである。2mカットオフ波長は1.82 $\mu\text{m}$ である。

## 【0031】

実施例5の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は0.44%であり、第2コア領域の比屈折率差 $\Delta n_2$ は-0.08%であり、第3コア領域の比屈折率差 $\Delta n_3$ は0.18%であり、内クラッド領域の比屈折率差 $\Delta n_4$ は-0.08%である。第1コア領域の外径 $2a$ は7.0 $\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は18.7 $\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は29.2 $\mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径 $2d$ は43.6 $\mu\text{m}$ である。

## 【0032】

この実施例5の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は1327nmであり、波長分散は、波長1.45 $\mu\text{m}$ で7.4ps/nm/kmであり、波長1.55 $\mu\text{m}$ で11.6ps/nm/kmであり、波長1.65 $\mu\text{m}$ で14.5ps/nm/kmである。波長1.55 $\mu\text{m}$ において、分散スロープは0.

0.34 ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、実効断面積は57.3 μm<sup>2</sup>であり、直径32 mm φでの曲げ損失は0.02 dB/ターンである。2 mカットオフ波長は1.71 μmである。

#### 【0033】

実施例6の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は0.44%であり、第2コア領域の比屈折率差 $\Delta n_2$ は-0.10%であり、第3コア領域の比屈折率差 $\Delta n_3$ は0.18%であり、内クラッド領域の比屈折率差 $\Delta n_4$ は-0.10%である。第1コア領域の外径2aは6.8 μmであり、第2コア領域の外径2bは17.8 μmであり、第3コア領域の外径2cは29.9 μmであり、内クラッド領域の外径2dは44.6 μmである。

#### 【0034】

この実施例6の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は1339 nmであり、波長分散は、波長1.45 μmで5.6 ps/nm/kmであり、波長1.55 μmで8.4 ps/nm/kmであり、波長1.65 μmで9.7 ps/nm/kmである。波長1.55 μmにおいて、分散スロープは0.018 ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、実効断面積は57.2 μm<sup>2</sup>であり、直径32 mm φでの曲げ損失は0.07 dB/ターンである。2 mカットオフ波長は1.85 μmである。

#### 【0035】

実施例7の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は0.58%であり、第2コア領域の比屈折率差 $\Delta n_2$ は-0.10%であり、第3コア領域の比屈折率差 $\Delta n_3$ は0.22%であり、内クラッド領域の比屈折率差 $\Delta n_4$ は-0.10%である。第1コア領域の外径2aは5.1 μmであり、第2コア領域の外径2bは14.0 μmであり、第3コア領域の外径2cは23.5 μmであり、内クラッド領域の外径2dは35.0 μmである。

#### 【0036】

この実施例7の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は1700

nmであり、波長分散は、波長 $1.45\mu\text{m}$ で $-13.4\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ で $-12.4\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、波長 $1.65\mu\text{m}$ で $-5.6\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。波長 $1.55\mu\text{m}$ において、分散スロープは $0.037\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ であり、実効断面積は $55.2\mu\text{m}^2$ であり、直径 $32\text{mm}\phi$ での曲げ損失は $0.15\text{dB}/\text{ターン}$ である。2mカットオフ波長は $1.72\mu\text{m}$ である。

## 【0037】

実施例8の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ は $0.44\%$ であり、第2コア領域の比屈折率差 $\Delta n_2$ は $-0.10\%$ であり、第3コア領域の比屈折率差 $\Delta n_3$ は $0.16\%$ であり、内クラッド領域の比屈折率差 $\Delta n_4$ は $-0.10\%$ である。第1コア領域の外径 $2a$ は $6.8\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は $17.8\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は $26.8\mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径 $2d$ は $44.6\mu\text{m}$ である。

## 【0038】

この実施例8の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は $1353\text{nm}$ であり、波長分散は、波長 $1.45\mu\text{m}$ で $6.6\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ で $10.3\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、波長 $1.65\mu\text{m}$ で $12.7\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。波長 $1.55\mu\text{m}$ において、分散スロープは $0.029\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ であり、実効断面積は $55.8\mu\text{m}^2$ であり、直径 $32\text{mm}\phi$ での曲げ損失は $0.06\text{dB}/\text{ターン}$ である。2mカットオフ波長は $1.63\mu\text{m}$ である。

## 【0039】

実施例1～8の何れの光ファイバも、波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8\sim 15\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.05\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であり、波長帯域 $1.45\sim 1.65\mu\text{m}$ において波長分散の絶対値が $5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積が $45\mu\text{m}^2$ 以上であり、また、2mカットオフ波長が $1.40\mu\text{m}$ 以上である。特に、実施例3～6および12それぞれの光ファ

イバは、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における波長分散の絶対値が  $8 \sim 12 \text{ ps/nm/km}$  である。実施例 3, 4, 6 および 8 それぞれの光ファイバは、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散スロープの絶対値が  $0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下である。実施例 1～3 および 5～8 それぞれの光ファイバは、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における実効断面積が  $50 \mu\text{m}^2$  以上である。実施例 1 および 3～8 それぞれの光ファイバは、2 m カットオフ波長が  $1.60 \mu\text{m}$  以上である。

#### 【0040】

図 5 は、実施例 3 および 7 それぞれの光ファイバの波長分散の波長依存性を示すグラフである。実施例 3 および 7 それぞれの光ファイバは、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における波長分散が互いに異符号である。これらの光ファイバを組み合わせることで、全体の平均波長分散の絶対値を小さくすることができ、累積分散量の絶対値を小さくすることができる。また、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における波長分散が互いに異符号であって分散スロープも互いに異符号である 2 本の本実施形態に係る光ファイバを組み合わせることで、広い波長帯域において、全体の平均波長分散の絶対値を小さくすることができ、累積分散量の絶対値を小さくすることができる。

#### 【0041】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、本実施形態に係る光ファイバは、実施例 1～8 のものに限られることなく、他の設計も可能である。

#### 【0042】

##### 【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る光ファイバは、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における波長分散の絶対値が  $8 \sim 15 \text{ ps/nm/km}$  であり、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散スロープの絶対値が  $0.05 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下である。このことから、本発明に係る光ファイバは、波長分散の絶対値が大きいので四光波混合の発生を抑制することができ、分散スロープの絶対値が小さいので信号光波長帯域の広帯域化を図ることができる。

#### 【0043】



また、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における波長分散の絶対値が  $8 \sim 12 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$  である場合には、非線形光学現象と累積分散との相互作用に因る波形劣化を抑制する上で好適である。波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散スロープの絶対値が  $0.03 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$  以下である場合には、信号光波長帯域の広帯域化を図る上で更に好適である。波長帯域  $1.45 \sim 1.65 \mu\text{m}$  において波長分散の絶対値が  $5 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$  以上である場合には、広い波長帯域で波長分散の絶対値が大きいので、この広い信号光波長帯域で四光波混合の発生を抑制することができ、大容量の光通信を行うことができる。

#### 【0044】

また、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における実効断面積が  $45 \mu\text{m}^2$  以上（より好適には  $50 \mu\text{m}^2$  以上）である場合には、実効断面積が大きいので、四光波混合の発生を抑制する上で好適である。2 m カットオフ波長が  $1.40 \mu\text{m}$  以上（より好適には  $1.60 \mu\text{m}$  以上）である場合には、信号光波長帯域でシングルモード条件を満たし、また、曲げ損失が小さく、曲げに強いので、ケーブル化の際のロス増を抑えるのに好適である。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図 1】

本実施形態に係る光ファイバを説明する図である。

##### 【図 2】

本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適な 1 例を示す図である。

##### 【図 3】

本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適な他の例を示す図である。

##### 【図 4】

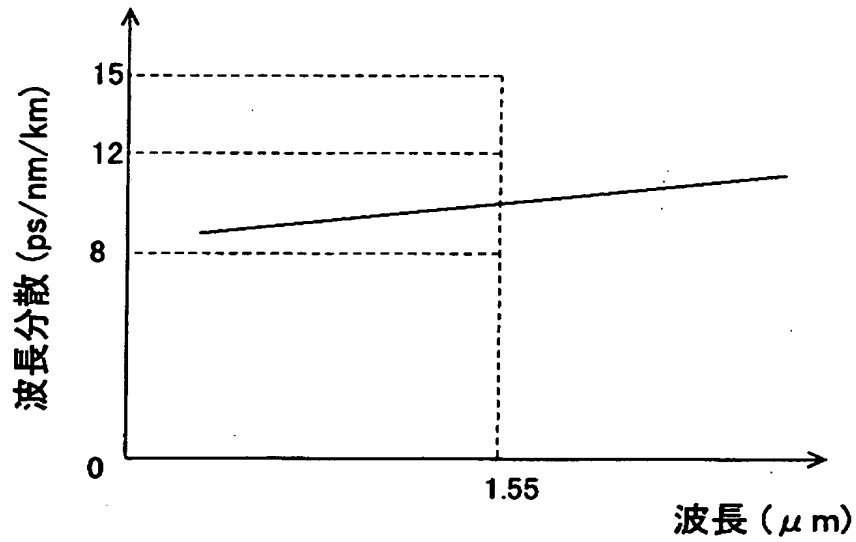
各実施例の光ファイバの諸元を纏めた図表である。

##### 【図 5】

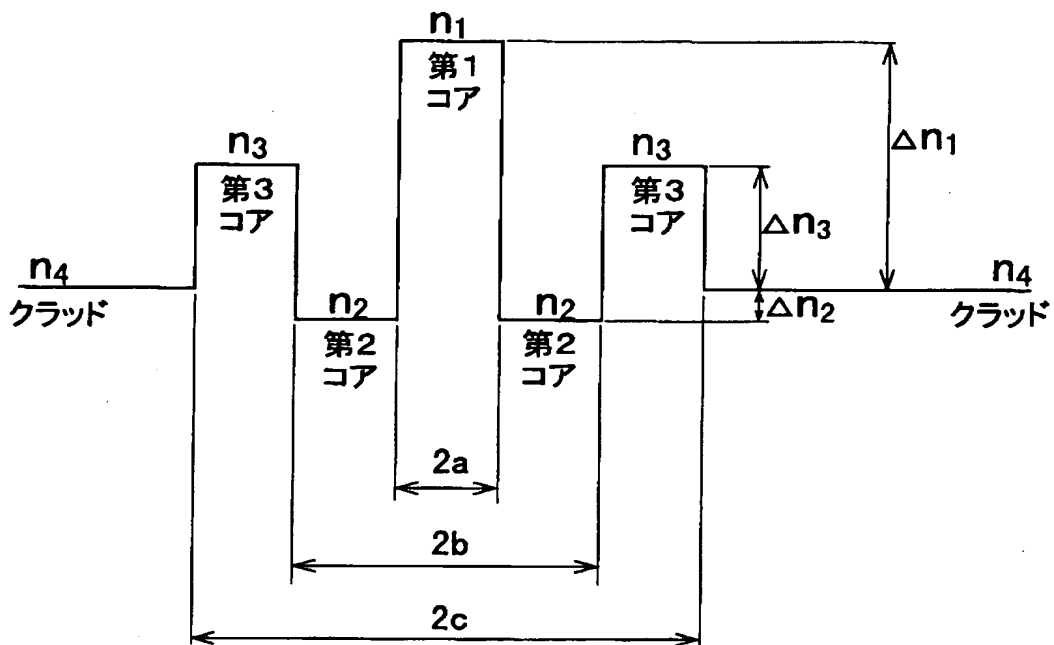
各実施例の光ファイバの波長分散の波長依存性を示すグラフである。

【書類名】 図面

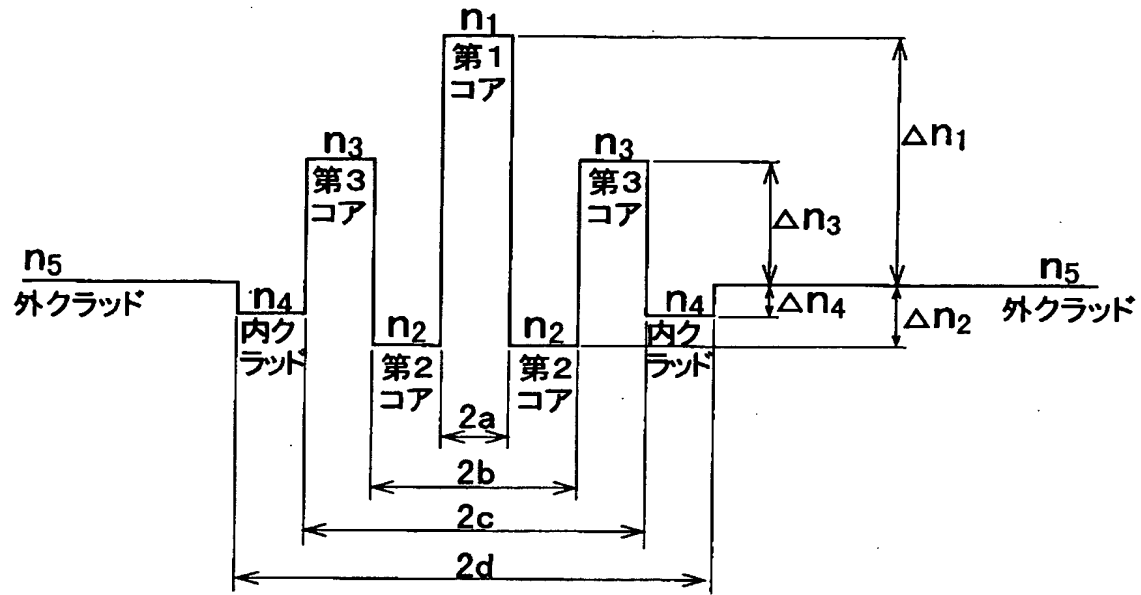
【図 1】



【図 2】



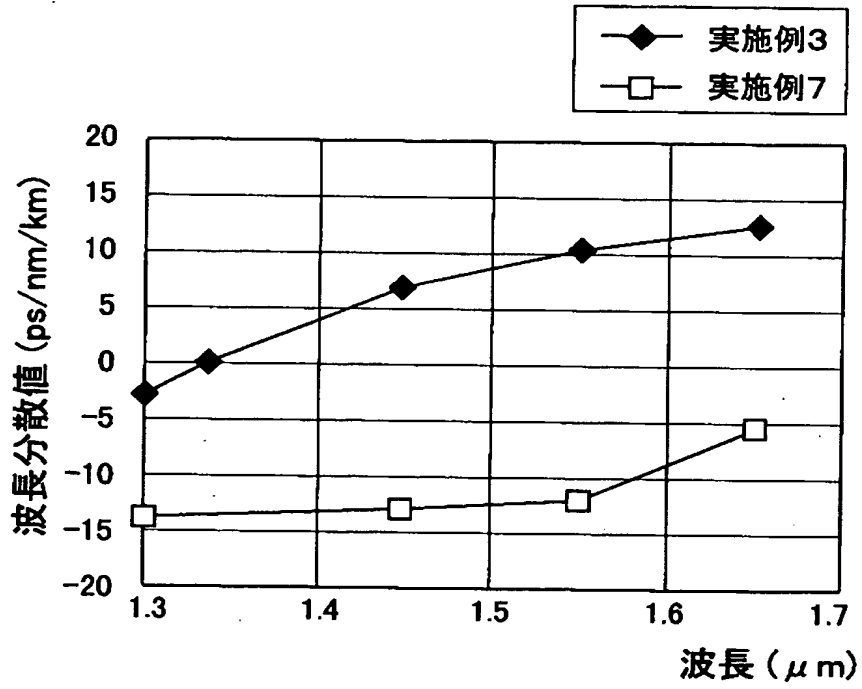
【図 3】



【図 4】

実施例	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta n_1$ (%)	0.44	0.40	0.45	0.46	0.44	0.44	0.58	0.44
$\Delta n_2$ (%)	0.00	-0.05	-0.10	-0.20	-0.08	-0.10	-0.10	-0.10
$\Delta n_3$ (%)	0.13	0.15	0.19	0.26	0.18	0.18	0.22	0.16
$\Delta n_4$ (%)	—	-0.05	-0.10	-0.20	-0.08	-0.10	-0.10	-0.10
2 a ( $\mu\text{m}$ )	7.0	7.6	6.7	6.4	7.0	6.8	5.1	6.8
2 b ( $\mu\text{m}$ )	20.8	16.3	18.9	22.7	18.7	17.8	14.0	17.8
2 c ( $\mu\text{m}$ )	32.0	25.5	29.5	32.4	29.2	29.9	23.5	26.8
2 d ( $\mu\text{m}$ )	—	38.0	44.0	48.4	43.6	44.6	35.0	44.6
零分散波長 (nm)	1329	1330	1331	1316	1327	1339	1700	1333
波長分散 (ps/nm/km)								
@1.45 $\mu\text{m}$	8.2	7.5	6.8	8.4	7.4	5.6	-13.4	6.6
@1.55 $\mu\text{m}$	13.5	12.5	10.5	11.9	11.6	8.4	-12.4	10.3
@1.65 $\mu\text{m}$	18.0	17.1	12.6	10.6	14.5	9.7	-5.6	12.7
分散スロープ @1.55 $\mu\text{m}$ (ps/nm <sup>2</sup> /km)	0.048	0.047	0.027	0.015	0.034	0.018	0.037	0.029
実効断面積 @1.55 $\mu\text{m}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	63.4	69.2	54.1	45.5	57.3	57.2	55.2	55.8
32mm $\phi$ 曲げ損失 @1.55 $\mu\text{m}$ (dB/ターン)	0.003	0.02	0.05	0.47	0.02	0.07	0.15	0.06
2mカットオフ波長( $\mu\text{m}$ )	1.78	1.43	1.73	1.82	1.71	1.85	1.72	1.63

【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 四光波混合の発生を十分に抑圧することができ、且つ、信号光波長帯域の広帯域化を図ることができる光ファイバを提供する。

【解決手段】 本発明に係る光ファイバは、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における波長分散の絶対値が  $8\sim 15\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ （より好適には  $8\sim 12\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ ）であり、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における分散スロープの絶対値が  $0.05\ \text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$  以下（より好適には  $0.03\ \text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$  以下）である。また、好適には、波長帯域  $1.45\sim 1.65\ \mu\text{m}$  において波長分散の絶対値が  $5\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$  以上であり、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における実効断面積が  $45\ \mu\text{m}^2$  以上（より好適には  $50\ \mu\text{m}^2$  以上）であり、 $2\ \text{m}$  カットオフ波長が  $1.40\ \mu\text{m}$  以上（より好適には  $1.60\ \mu\text{m}$  以上）である。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名 住友電気工業株式会社